

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale



TESI DI LAUREA

**Prove sperimentali e verifiche numeriche per un'ala di un
sistema di difesa aria-terra realizzata in materiale composito**

Relatori:

Prof. Ing. Mario Chiarelli

Prof. Ing. Agostino Lanciotti

Dott. Ing. Massimo Petacchi

Candidato:

Marco Siddi

Anno Accademico 2005-2006

RIASSUNTO ANALITICO

La presente tesi, svolta in collaborazione con l'azienda MDBA Italia S.p.A., illustra l'attività di progetto della prova statica dell'ala del missile Marte MK2/s e ne documenta l'esecuzione.

Sono descritte le proprietà costruttive dell'ala, caratterizzata da una struttura a guscio ottenuta per laminazione di preimpregnati in fibra di carbonio a matrice epossidica, ed è riportata una sintesi dell'analisi dei carichi. Successivamente vengono illustrati il funzionamento della macchina di prova e la modalità di esecuzione del test.

La parte centrale del lavoro è dedicata alla simulazione al calcolatore, eseguita con il *software* per la modellazione ad elementi finiti *Ansys*. Particolare attenzione è stata posta sulle tecniche di modellazione ed i tipi di elemento adottati per riprodurre il rivestimento in materiale composito e le giunzioni incollate presenti sia nella struttura dell'ala sia all'interfaccia tra la macchina e l'oggetto di prova. I risultati del modello numerico sono stati messi a confronto con le misure di spostamento e deformazione registrate dai trasduttori installati sull'ala.

La tesi si conclude con un'analisi critica dei risultati sperimentali e la verifica, tramite modello ad elementi finiti, di una proposta di modifica al disegno costruttivo dell'ala, finalizzata all'incremento della resistenza statica.

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
1.1	SCOPO DELLA TESI	1
1.2	PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA	1
1.3	IL SISTEMA MARTE MK2/s	2
2	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELL'ALA	4
2.1	CARATTERISTICHE GENERALI	4
2.2	COMPOSIZIONE DELL'ASSIEME MECCANICO DELL'ALA	5
2.2.1	<i>Parte fissa</i>	6
2.2.2	<i>Parte mobile</i>	6
2.2.3	<i>Dispositivo di dispiegamento e blocco</i>	7
2.3	STRATIFICAZIONE DEI PARTICOLARI IN MATERIALE COMPOSITO	9
3	ANALISI DEI CARICHI.....	12
3.1	PREMESSA	12
3.2	CONFIGURAZIONE DI CARICO MASSIMO	12
3.2.1	<i>Condizioni di volo considerate</i>	12
3.2.2	<i>Risultati</i>	13
3.3	DISTRIBUZIONE DI PORTANZA	14
3.3.1	<i>Dati di ingresso</i>	14
3.3.2	<i>Risultati</i>	16
4	MACCHINA DI PROVA.....	19
4.1	CARATTERISTICHE GENERALI	19
4.2	SUPPORTO DELL'ALA	21
4.3	CILINDRO IDRAULICO	21
4.4	CATTEDRALE DI CARICO	23
4.5	STAZIONI DI CARICO ED INTERFACCIA CON L'ALA	24
4.6	SISTEMA D'ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	26
4.6.1	<i>Celle di carico</i>	26
4.6.2	<i>Estensimetri</i>	27
4.6.3	<i>Sensori di spostamento</i>	28
5	MODALITÀ DI ALLESTIMENTO ED ESECUZIONE DELLA PROVA	33

5.1	PREPARAZIONE DELL'ALA	33
5.2	MONTAGGIO E COLLEGAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE.....	35
5.3	ALLESTIMENTO DELLA PROVA	36
5.3.1	<i>Fase preliminare</i>	36
5.3.2	<i>Esecuzione della prova</i>	39
5.3.3	<i>Fine prova</i>	40
6	MODELLO AD ELEMENTI FINITI	41
6.1	PREMESSA	41
6.2	GENERAZIONE DEI MODELLI SOLIDI	42
6.2.1	<i>Codolo</i>	42
6.2.2	<i>Tubo dentato e boccole dentate</i>	43
6.2.3	<i>Stazioni di carico</i>	44
6.3	MODELLAZIONE DEL RIVESTIMENTO IN MATERIALE COMPOSITO (SEMIGUSCI).....	45
6.3.1	<i>Modelli di materiale relativi alle pelli</i>	45
6.3.2	<i>Scelta del tipo di elemento</i>	47
6.3.3	<i>Definizione della stratificazione</i>	49
6.4	MODELLAZIONE DEGLI INCOLLAGGI	54
6.4.1	<i>Modellazione degli incollaggi interni all'assieme ala</i>	55
6.4.2	<i>Incollaggio delle stazioni di carico</i>	56
6.5	SCHEMATIZZAZIONE DEL MECCANISMO DI DISPIEGAMENTO E BLOCCO	60
6.6	SCHEMATIZZAZIONE DEI COLLEGAMENTI FILETTATI.....	64
6.7	CONDIZIONI AL BORDO	66
6.7.1	<i>Vincoli</i>	66
6.7.2	<i>Carichi</i>	67
7	FASE ESECUTIVA E ANALISI DEI RISULTATI	68
7.1	ESECUZIONE DELLA PROVA.....	68
7.2	INDAGINE SULLE CAUSE DI ROTTURA	69
7.3	RIEPILOGO DEI DATI ACQUISITI	72
7.4	CONFRONTO DELLE MISURE SPERIMENTALI CON I RISULTATI FEM.....	77
8	STUDIO DELLE MODIFICHE APPORTATE AL DISEGNO DELL'ALA.....	80
8.1	DESCRIZIONE DELLE MODIFICHE	80
8.2	VERIFICHE STRUTTURALI ESEGUITE SUL NUOVO DISEGNO	81
8.3	MODELLO FEM	82

8.3.1	<i>Approssimazioni geometriche.....</i>	82
8.3.2	<i>Generazione della mesh.....</i>	83
8.3.3	<i>Condizioni al bordo.....</i>	84
8.4	RISULTATI	85
9	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	87
	BIBLIOGRAFIA	89
	APPENDICE A CAMPIONE DI RISULTATI DEL MODELLO NUMERICO	91
	APPENDICE B FILE DI INPUT E OUTPUT DEL PROGRAMMA ESDU A9510.....	100
	APPENDICE C PROVE PRELIMINARI SULL'ADESIVO SCOTCH WELD 9323..	103
	APPENDICE D CALCOLI DI VERIFICA DELL'ATTREZZATURA	108
	APPENDICE E DISEGNI.....	118